

学 位 論 文 の 要 旨

論文題目

子どもの身体組成および重心動揺における評価指標の開発

HD15E003 溝畑 潤

目的と論文の構成

現在の子どもの生活環境は、様々な環境要因により変化し、身体的発育発達に影響を及ぼしている。特に幼児期、児童生徒期の子どもの身体活動量の減少や偏食、睡眠不足は、肥満や痩せを引き起こし身体組成の発育に影響するとともに、身体の歪みや姿勢保持能力の低下による身体バランス能力（平衡機能）の発達にも影響を及ぼしている。こうした環境要因による子どもの身体的発育発達への影響は、成人期の生活習慣病への移行に大きく関与するが、身体的発育発達の成長過程を客観的に評価する指標は身長、体重および体力テストの測定結果しか見受けられない。

以上のことを鑑み、本論文は子どもの身体的発育発達を客観的に評価する指標を開発することを目的として以下の4つの基礎研究により構成した。

- 1) 日本人の子どもの身体組成の推定精度に関する検討
- 2) 両掌間生体インピーダンス（HHBI）法による日本の子どもの除脂肪量（FFM）推定式の開発
- 3) 子どもの重心動揺における評価指標の開発
- 4) 重心動揺図を用いた重心動揺パターンの評価について

研究1) 日本人の子どもの身体組成の推定精度に関する検討

【目的】

本研究では、水中体重秤量法（Underwater Weighing：以下UWWとする）、重水希釈法（Deuterium Dilution Technique：以下DDTとする）および二重エネルギーX線吸収法（Dual energy X-ray Absorptiometry：以下DXAとする）の身体組成推定法のうち、子どもの除脂肪量（Fat Free Mass：以下FFMとする）を算出するには、いずれの身体組成推定法が有用であるかを比較検討した。

【方法】

対象者は6歳から15歳までの健康な男女21名（男子8名、女子13名）である。

測定手順は次の通りとした。①対象者が食後2時間以上経過した状態で測定を実施した。②測定前に対象者および保護者に測定内容と方法を説明し、潜水や水中で最大呼息が可能であることを確認した。③その後、1回目の採尿を行い、重水の経口投与、身長および体重の計測、DXAの測定、排尿（重水の経口投与1時間後）、UWWの測定、2回目の採尿（重水の経口投与2時間後）の順で実施し、DXAの測定は医師が行った。

【結果】

各推定法（UWW、DDTおよびDXA）から算出したFFMは、男女ともに各群の平均値間に有意差は認められなかった。図1は各推定法から求めたFFMの相関関係とSEEを示したものである。男女ともに各推定法から求めたFFM間すべてに有意な相関関係がみられた。

【考察】

本研究の3つの身体組成推定法（UWW、DDTおよびDXA）には、脂肪量（Fat Mass：以下FMとする）やFFMを算出する為の原理や過程が異なる為、完全に一致した値が得られないが、本研究の結果

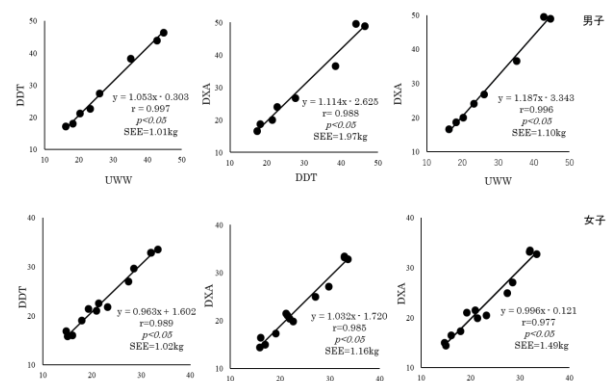


図1 各推定法から算出したFFMの相関関係とSEE

では、男女ともに各推定法における平均値間に有意差は認められなかった。また、男女ともにそれぞれの群間において有意な高い相関係数が得られた（図1）。このことから、UWW、DDTおよびDXAは、日本人の子どもを対象とした場合において高い相関関係にあり、いずれの推定法からもFFMの算出が可能であることを示唆した。

【結論】

本研究において、子どもの身体組成の評価としてUWW、DDTおよびDXAは高い相関関係にあり、いずれの測定方法を基準としても一定のFFM値が得られることが示唆された。

研究2) 両掌間生体インピーダンス（HHBI）法による日本の子どもの除脂肪量（FFM）推定式の開発

【目的】

本研究では、日本人の幅広い年齢層の子どもの身体組成を安全かつ短時間で簡便に評価する為に、両掌間生体インピーダンス法（Hand-to-Hand Bioelectrical Impedance：以下HHBIとする）による日本人の子どものFFM推定式の作成を試み、そのFFM推定式の交差妥当性について検討することを目的とした。

【方法】

4歳から15歳までの健康な男子70名、女子75名の計145名を対象とした。HHBIによるFFM推定式を作成する為に、対象者を性と年齢別に層別化し、無作為に推定式作成群（以下Validation群とする）と交差妥当性群（以下Cross-validation群とする）を2：1に近似するように振り分ける為、男子のValidation群を46名、Cross-validation群を24名、女子のValidation群を50名、Cross-validation群を25名とした。HHBIの測定にはオムロン社製体脂肪計HBF-300を使用した。対象者は足を少し開いて自然体で立位姿勢をとらせた。測定器具のグリップ電極の窪んだ位置に両手の中指を左右それぞれあてて、親指と人差し指で上側、薬指と小指で下側の電極をしっかりと握らせた。肘を曲げずに真っ直ぐに伸ばし、腕は身体と90度になるような角度とした。測定姿勢が安定したら抵抗値（ Ω ）を記録した。なお、HHBIの妥当基準としてDDTを採用した。

【結果】

図2にはValidation群におけるHHBIによるFFM推定式から求めたFFMとDDTから求めたFFMとの相関関係を示した。その結果、男女とも0.1%水準で有意な相関関係が認められた。また、図3にはCross-validation群におけるHHBIによるFFM推定式から求めたFFMとDDTから求めたFFMの一致度をBland & Altmanの手法を用いて示した。その結果、男女ともに有意な系統誤差は認められなかった。すべての対象者のデータを用いてHHBIのFFM推定式を男女別に作成したものを表1に示した。この推定式における決定係数（ R^2 ）は男女ともに0.1%水準で有意に高かった。

【考察】

HHBIは両手で電極を握るだけで簡便に測定でき、装置が軽量小型（約500g）であることから携帯性にも優れているが、同法は上半身のインピーダンスの貢献度が高い為、下半身

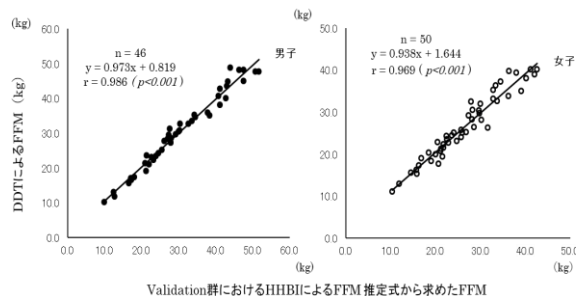


図2 Validation群におけるHHBIによるFFM推定式から求めたFFMとDDTから求めたFFMとの相関関係

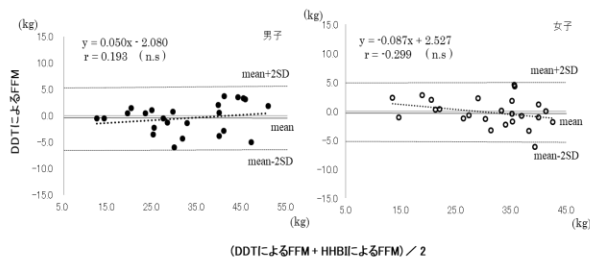


図3 Bland-Altman法によるCross-validation群におけるHHBIによるFFMとDDTによるFFMの相関関係

(mean: 平均値 SD: 標準偏差 n.s.: not significant)

表1 すべての対象者のデータから作成した男女別のHHBIによるFFM推定式

男子

$$Y = 0.395X_1 + 0.641X_2 - 0.057X_3 - 2.770$$

$$R^2 = 0.968 (p < 0.001)$$

$$SEE = 2.05$$

女子

$$Y = 0.520X_1 + 0.346X_2 + 0.416X_3 - 0.860$$

$$R^2 = 0.942 (p < 0.001)$$

$$SEE = 2.12$$

Y: 除脂肪量(kg) X_1 : インピーダンス・インデックス(身長(cm)²/インピーダンス(Z))
 X_2 : 体重(kg) X_3 : 年齢(歳)
 R^2 : 決定係数
 SEE: 標準誤差(kg)

が著しく太っている者には適切な身体組成評価がなされないことが懸念される³⁾。しかし、本研究の結果からDDTより算出したFFMとHHBIより算出したFFMの相関関係は有意に高く、さらにBland & Altman法からも男女ともに有意な系統誤差は認められなかった。このことから、子どもの年齢や性差を考慮したFFM推定式（表1）は有効であると考えられた。

【結論】

本研究で作成したHHBIによる子どものFFM推定式は、日本の幅広い年齢層の子どもの身体組成評価法として優れた評価法であることを示唆した。

研究3) 子どもの重心動揺における評価指標の開発

【目的】

本研究は、子どもの静的バランス能力を客観的に評価する為に重心動揺値に着目し、外周面積と総軌跡長から子どもの重心動揺値の評価基準を年齢ごとに作成するとともに、子どもの重心動揺値の横断的発達基準曲線を作成することを目的とした。

【方法】

対象者は、大阪府および兵庫県の保育園、幼稚園および小学校に在籍する4歳から11歳（測定時の年齢）までの1532名（男子769名，女子763名）とした。重心動揺値の測定にはアニマ株式会社製グラビコーダGS-7を使用した。重心動揺値には総軌跡長（cm）と外周面積（cm²）を採用した。測定手順は2006年平衡機能検査法診断基準化委員会が定めた測定方法に従った¹⁾。

【結果】

開閉眼の重心動揺値について年齢を要因とした分散分析の結果、男女ともに外周面積（開閉眼）、総軌跡長（開閉眼）のいずれにも有意差がみられた（ $p<0.05$ ）。男女の重心動揺値における年齢別パーセンタイル値から、25パーセンタイル未満を「優れている」、25パーセンタイル以上75パーセンタイル未満を「普通」、75パーセンタイル以上を「劣る」として、男女の重心動揺値の3段階評価基準を作成した（表2）。さらに重心動揺値のパーセンタイル値を従属変数、年齢を独立変数として対数関数による回帰分析を行った結果、男女の開閉眼の重心動揺値（外周面積、総軌跡長）に有意な相関関係がみられた。

【考察】

先行研究から重心動揺値の安定年齢は6歳から10歳であると報告されており²⁾、本研究も同様の結果が得られた。また、各年齢の重心動揺値による評価基準を作成するにあたり、先行研究では重心動揺値（総軌跡長、外周面積および矩形面積）において自然対数値、平方根値および正規化値は正規性が保たれた変数であるとされているが、本研究では重心動揺値の対数変換による正規化の分布に大きな偏りがみられた為、パーセンタイル値で評価した。さらに重心動揺値のパー

表2 男女の開閉眼の重心動揺値の3段階評価基準

評価 年齢	男子						
	開眼・外周面積			開眼・総軌跡長			
	優れている	普通	劣っている	優れている	普通	劣っている	
4	～ 3.55	3.56 ～ 6.36	6.37 ～	～ 53.62	53.63 ～ 82.07	82.08 ～	
5	～ 2.67	2.68 ～ 6.16	6.17 ～	～ 51.75	51.76 ～ 69.60	69.61 ～	
6	～ 2.01	2.02 ～ 5.10	5.11 ～	～ 39.74	39.75 ～ 63.25	63.26 ～	
7	～ 1.74	1.75 ～ 3.84	3.85 ～	～ 38.52	38.53 ～ 54.13	54.14 ～	
8	～ 1.78	1.79 ～ 3.61	3.62 ～	～ 34.60	34.61 ～ 53.12	53.13 ～	
9～11	～ 1.44	1.45 ～ 2.93	2.94 ～	～ 33.49	33.50 ～ 47.77	47.78 ～	
評価 年齢	女子						
	開眼・外周面積			開眼・総軌跡長			
	優れている	普通	劣っている	優れている	普通	劣っている	
4	～ 5.24	5.25 ～ 10.07	10.08 ～	～ 76.61	76.62 ～ 110.77	110.78 ～	
5	～ 3.75	3.76 ～ 7.49	7.50 ～	～ 69.12	69.13 ～ 100.81	100.82 ～	
6	～ 2.86	2.87 ～ 5.79	5.80 ～	～ 51.61	51.62 ～ 82.95	82.96 ～	
7	～ 2.86	2.87 ～ 5.09	5.10 ～	～ 50.82	50.83 ～ 75.30	75.31 ～	
8	～ 2.31	2.32 ～ 5.38	5.39 ～	～ 46.92	46.93 ～ 69.34	69.35 ～	
9～11	～ 2.05	2.06 ～ 4.14	4.15 ～	～ 45.84	45.85 ～ 65.62	65.63 ～	
評価 年齢	閉眼・外周面積						
	開眼・外周面積			閉眼・総軌跡長			
	優れている	普通	劣っている	優れている	普通	劣っている	
4	～ 2.96	2.97 ～ 5.15	5.16 ～	～ 48.25	48.26 ～ 70.61	70.62 ～	
5	～ 2.25	2.26 ～ 6.32	6.33 ～	～ 48.25	48.26 ～ 70.08	70.09 ～	
6	～ 1.57	1.58 ～ 3.87	3.88 ～	～ 37.51	37.52 ～ 50.25	50.26 ～	
7	～ 1.41	1.42 ～ 2.77	2.78 ～	～ 33.05	33.06 ～ 46.58	46.59 ～	
8～11	～ 1.34	1.35 ～ 2.66	2.67 ～	～ 31.64	31.65 ～ 45.40	45.41 ～	
評価 年齢	閉眼・外周面積						
	開眼・外周面積			閉眼・総軌跡長			
	優れている	普通	劣っている	優れている	普通	劣っている	
4	～ 5.24	5.25 ～ 8.09	8.10 ～	～ 68.78	68.79 ～ 110.13	110.14 ～	
5	～ 3.75	3.76 ～ 7.88	7.89 ～	～ 67.92	67.93 ～ 97.86	97.87 ～	
6	～ 2.86	2.87 ～ 5.02	5.03 ～	～ 46.34	46.35 ～ 75.24	75.25 ～	
7	～ 2.86	2.87 ～ 4.42	4.43 ～	～ 44.99	45.00 ～ 67.88	67.89 ～	
8～11	～ 2.31	2.32 ～ 3.76	3.77 ～	～ 42.10	42.11 ～ 66.07	66.08 ～	

センタイル値を従属変数、年齢を独立変数として対数関数による回帰分析から得られた近似式を基に、男女の開閉眼の重心動揺値（外周面積、総軌跡長）の発達基準曲線を作成した。

【結論】

本研究で示した子どもの開閉眼の重心動揺値の男女別3段階評価基準および男女別横断的発達基準曲線は、個人の評価だけでなく学校教育現場やスポーツクラブに所属する集団を横断的により詳細に評価できるものである。

研究4) 重心動揺図を用いた重心動揺パターンの評価について—小学生の重心動揺パターンと重心動揺値および体力テストの関係から—

【目的】

本研究では、小学生の重心動揺に焦点を当て、重心動揺図による評価を4つのパターンに分類し、重心動揺パターンの評価が小学生の静的バランス能力を評価しうる指標となるか検討した。

【方法】

兵庫県下のA小学校に在籍する1年生から6年生の児童生徒178名（男子86名、女子92名）を対象とし、1年生と2年生を低学年、3年生と4年生を中学年、5年生と6年生を高学年に分類した。研究3と同様に重心動揺の測定はアニマ株式会社製グラビコーダGS-7を使用し、測定手順も同様とした。なお、身長において学年間に有意差がみられた為、重心動揺値の身長補正の算出式（1）を用いて補正値を算出した上で分析を実施した²⁾。

$$\text{補正値} = \text{実測値} \times 130 \div \text{身長} \cdots (1)$$

スポーツ庁の体力テスト（2018）に準拠した8種目（握力、反復横跳び、20mシャトルラン、50m走、長座位前屈、上体起こし、ソフトボール投げ、立ち幅跳び）の測定を行った。また、測定結果は平成29年度体力・運動能力調査報告書（スポーツ庁、2018）の各年齢（6-11歳）の全国平均値を基に8種目の体力測定のTスコアを算出した。

重心動揺図を図4のようにXY軸の交点（中心点）よりそれぞれ1cmごとに線で区切り、次の4パターンに分類定義した。すなわち、中心点からXY軸方向に±2cm以内に集中している場合は中心型、中心点からX軸方向に±2cm以内、Y軸方向に±2cm以上広がっている場合は前後型、中心点からY軸方向に±2cm以内、X軸方向に±2cm以上に広がっている場合は左右型、中心点からXY軸方向に±2cm以上広がっている場合は乱型である。

【結果】

性別および学年別にみた開閉眼での重心動揺パターンの割合から、男女ともに開閉眼の重心動揺パターンにおいて学年間で有意差がみられた（表3）。多重比較検定を行った結果、重心動揺パターンは開眼において、男子は高学年と低学年および中学年との間、女子は高学年と低学年との間に有意差がみられた（ $p < 0.05$ ）。また、閉眼では男女ともに高学年と低学年との間に有意差がみられた（ $p < 0.05$ ）。さらに残差分析の結果、男子の高学年が開眼の中心型と閉眼の前後型の割合が他の学年よりも有意に高く（ $p < 0.05$ ）、女子の低学年が開閉眼の乱型の割合が他の学年よりも有意に高かった（ $p < 0.05$ ）。男女ともに開閉眼の単位面積軌跡長に有意な重心動揺パターン差がみられた（ $p < 0.001$ ）。多重比較検定を行った結果、男子は開閉眼ともに中心型と前後型（開眼； $p = 0.014$ 、閉眼； $p = 0.009$ ）および乱型（開閉眼； $p < 0.001$ ）との間に有意差がみられた。女子は開眼の中心型と前後型（ $p = 0.01$ ）および乱型（ $p < 0.001$ ）との間、閉眼の中心型と左右型（ $p = 0.007$ ）および乱型（ $p < 0.001$ ）との間に有意差がみられた。男女併せた体力テストの測定結果（Tスコア）を重心動揺パターン別にみた結果、反復横跳びにおいて開眼の中心型と乱型との間に有意差（ $p < 0.001$ ）がみられたが、その他の測定項目には有意差はみられなかった。

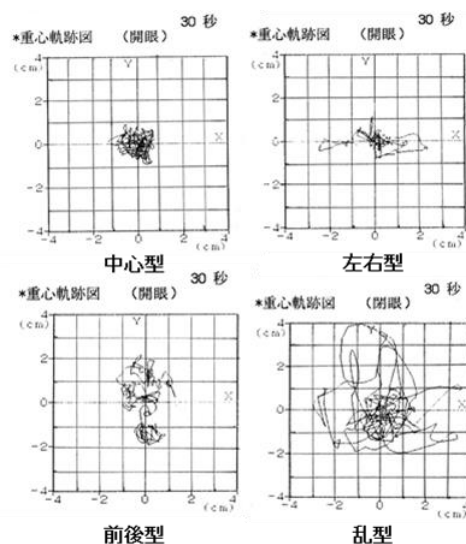


図4 重心動揺パターン

表3 性別および学年別にみた重心動揺パターンの割合

	性別	学年	人数	中心型(相対値)	前後型(相対値)	左右型(相対値)	乱型(相対値)	χ^2 (df)	p値	多重比較検定: 学年間 (p値)
開眼	男子	低学年	30	10 (33.3%)	3 (10.0%)	3 (10.0%)	14 (46.7%)	16.854 (6)	$p=0.01^*$	高学年×低学年 ($p=0.002^{**}$) 高学年×中学年 ($p=0.019^*$)
		中学年	24	10 (41.7%)	2 (8.3%)	1 (4.1%)	11 (45.8%)			
		高学年	32	25(78.1%)	3 (9.4%)	0 (0.0%)	4 (12.5%)			
	女子	低学年	31	17 (54.8%)	2 (6.5%)	0 (0.0%)	12 (38.7%)	13.824 (6)	$p=0.032^{**}$	高学年×低学年 ($p=0.015^*$)
		中学年	30	20 (66.7%)	5 (16.7%)	1 (3.3%)	4 (13.3%)			
		高学年	31	24 (77.4%)	3 (9.7%)	2 (6.5%)	2 (6.5%)			
閉眼	男子	低学年	30	3 (10.0%)	2 (6.7%)	4 (13.3%)	21 (70.0%)	24.063 (6)	$p=0.01^*$	高学年×低学年 ($p<0.001^{***}$)
		中学年	24	7(29.2%)	3 (12.5%)	1 (4.1%)	13 (54.2%)			
		高学年	32	13 (40.6%)	11 (34.4%)	0 (0.0%)	8 (25.0%)			
	女子	低学年	31	12 (38.6%)	3 (9.7%)	0 (0.0%)	16 (51.6%)	16.357 (6)	$p=0.012^*$	高学年×低学年 ($p=0.008^{**}$)
		中学年	30	11 (36.7%)	8 (26.7%)	2 (6.7%)	9 (30.0%)			
		高学年	31	21 (67.7%)	4 (12.9%)	2 (6.5%)	4 (12.9%)			

(両側検定) * $p<0.05$ ** $p<0.01$ *** $p<0.001$

【考察】

小学生の重心動揺について、重心動揺図の前後左右動揺を視覚的に捉えて4パターンに分類し評価した結果、男女ともに開閉眼の重心動揺パターンにおいて高学年と低学年に有意差がみられ、先行研究と同様に重心動揺の発達の経年変化を示した²⁾。また、男女ともに開閉眼の中心型の単位面積軌跡長が他の重心動揺パターンよりも有意に高かったことから、本研究の重心動揺パターンの評価は総軌跡長と外周面積から算出される単位面積軌跡長の評価を反映するものと考えられた。さらに体力テストの測定結果を標準化して男女併せて重心動揺パターン別に検討した結果、反復横跳びにのみ開眼の中心型と乱型との間に有意差がみられ、体力テストの他の種目と重心動揺パターンに有意差がみられなかった。以上のことから、小学生の開眼の重心動揺は敏捷性と関与するが、開閉眼の重心動揺は筋力、筋持久力および全身持久力に影響を及ぼさないことが示唆された。

【結論】

本研究の重心動揺パターンは、重心動揺の発達を重心動揺図によって評価できること、および小学生の重心動揺には敏捷性は関与するが、筋力、筋持久力および全身持久力に影響を及ぼさないことが示唆された。

引用文献

- 1) 平衡機能検査基準化委員会 (2006) 平衡機能検査法診断基準化のための資料. Equilibrium Research, 65 : 468-503.
- 2) 臼井永男 (1995) 重心動揺の発達の变化. 理学療法科学, 10 : 167-173.
- 3) 吉村学・石岡正子・田中喜代次・金憲経・重松良祐・大蔵倫博・中塘二三生・福永哲夫・田中史子・梅川常和・坂根直樹・吉田俊秀 (1997) 両掌間誘導BI法による体脂肪測定器の開発. 肥満研究, 3 : 125-133.

参考論文

- 1) 溝畑潤・中塘二三生・大河原一憲・金憲経・田中喜代次・田路秀樹 (2017) 日本人の子どもの身体組成の推定精度に関する研究—水中体重秤量法, 重水希釈法及びDXAにより求めた除脂肪量から—。教育医学, 62 : 411-417.
- 2) 溝畑潤・中塘二三生・大河原一憲・金憲経・田中喜代次・田路秀樹 (2018) 両掌間生体インピーダンス (HHBI) 法による日本の子どもの除脂肪量 (FFM) 推定式の開発. 健康支援, 20 : 9-16.
- 3) 溝畑潤・田路秀樹 (2019) 子どもの重心動揺における評価基準と横断的発達基準曲線の開発. 教育医学, 65巻3号掲載予定 2019年 (令和元年) 9月14日受理
- 4) 溝畑潤・田路秀樹 (2019) 重心動揺図を用いた重心動揺パターンの評価について—小学生の重心動揺パターンと重心動揺値および体カテストの関係から—。大阪体育学研究, 58 : 40-50.